

Entwicklung eines wissensbasierten Assistenzsystems zur Konfiguration robotergestützter, hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung sicherheitsrelevanter Anforderungen.

Gegenwärtige Tendenzen in der Automatisierungstechnik und im Speziellen in der Disziplin der Robotik zeigen eine voranschreitende Entwicklung im Bereich der hybriden Automatisierung. Der Fokus der Entwicklungen liegt auf dem industriellen Einsatz schutzzaunloser Robotersysteme. Derartige Technologien ermöglichen eine Zusammenarbeit von Mensch und Roboter und erlauben somit eine Synergie der menschlichen Fähigkeiten und der Eigenschaften der Robotik für hybride Montageanwendungen (Mensch-Roboter-Kollaboration, MRK). Den Vorteilen der Zusammenarbeit stehen die Herausforderungen zur Beherrschung der Technologiekomplexität im industriellen Anlagenbau gegenüber. Ein stetig wachsender Roboterabsatzmarkt mit zunehmender Produktvielfalt und umfangreiche, sicherheitsrelevante Aspekte im Anlagendesign erschweren die Konzeptionierung einer MRK-Anlage.

Im Rahmen der Dissertation wurde ein Assistenzsystem für die Planung von MRK-Anlagen anhand definierter Entwicklungsschritte modelliert und prototypisch programmiert. Den Ausgangspunkt für einen MRK-Anlagenplanungsprozess bildet in der Regel die Bestimmung eines geeigneten Roboters im Kontext eines applikationsspezifischen Anforderungsprofils. Zu diesem Zweck wurden Expertenbefragungen durchgeführt, die Entscheidungsmuster zur Roboterwahl identifiziert haben. In Abhängigkeit des gewählten Roboters folgen je nach Kollaborationsart normative Anforderungen an eine MRK-Anlage, die in Auszügen im Assistenzsystemdesign berücksichtigt wurden. Die Modellierung des Assistenzsystems enthält verschiedene Wissensrepräsentationsformalismen zur Speicherung von expertenbasierten Entscheidungsregeln, Roboterkriterien auf Basis dieser Entscheidungsregeln, zertifizierte Sicherheitstechnologien sowie normative Rahmenbedingungen zur Konzeptionierung von MRK-Anlagen. Für die Wissensverarbeitung im Assistenzsystem wurden unterschiedliche mathematische Methoden bewertet und schlussfolgernd ein Entscheidungsbaumverfahren mit Zwischenzuweisungen für die Anwendung herangezogen. Das prototypisch entwickelte Assistenzsystem Kosyh-Mos (Konfigurationssystem für roboterbasierte, hybride Montagesysteme) weist einen praktischen Nutzeffekt durch die Integration in *CATIA* auf. *CATIA* ist eine im industriellen Anlagenbau etablierte CAD-Software zur Planung von Produktionsanlagen. Die Validierung des modellierten und prototypisch entwickelten Assistenzsystems erfolgte an einem konkreten Beispiel aus der Automobilindustrie. Zur Unterstützung eines Notstrategieprozesses des Scheibeneinbaus wurde ein MRK-Anlagenkonzept entwickelt, das eine fähigkeitsorientierte Prozessteilung zwischen Mensch und Roboter realisiert. Die Empfehlung des entwickelten Assistenzsystems zeigte eine sehr gute Übereinstimmung mit den Expertenentscheidungen und Sicherheitsmaßnahmen der im Produktionssystem aufgebauten MRK-Anlage.

Die Dissertation beschreibt ein Konzept, mit dessen Hilfe das Anlagen-Engineering im Bereich der MRK-Anlagenentwicklung zukünftig systematisch unterstützt werden kann. Teilumfänge des Knowhows von Experten können durch das entwickelte Assistenzsystem archiviert und dadurch für unerfahrene Endanwender zugänglich gemacht werden. Neben Planungsabteilungen in der Automobilindustrie können auch Unternehmen des Anlagenbaus von diesem Knowhow profitieren.

Autor: Sebastian Keller

Development of a knowledge-based planning assistant to the system design of robot supported, hybrid assembly systems taking safety relevant requirements into account.

Current trends in automation technology, especially in the discipline of robotics, suggest a progressive development in the field of hybrid automation. The progressive development focuses on the industrial use of robot systems without safety fences (Human-Robot-Collaboration, HRC). HRC-technologies allow a synergy of human capabilities and the qualities of robotics for hybrid assembly applications. In order to realise such industrial applications, the challenge is to handle the technology on the one hand and the complexity in the field of engineering on the other hand. A steadily growing robot market with continuously increasing product diversity and extensive safety requirements in application design make it even harder to conceptualize HRC-systems reliably and safely.

As a possible solution an assistance system for the planning of HRC-systems was modeled and programmed as a prototype using defined development steps. Depending on the application the starting point for an industrial HRC-system planning process is the selection of a best fit robot in the context of a specific requirement profile. Expert interviews were executed for this purpose in order to identify decision patterns for robot selection. Depending on the selected type of HRC and type of robot different international standards apply and must be taken into account. Excerpts from the international standards were included in the modeling of the assistance system. In addition the model of the assistance system includes various knowledge representation formalisms for storing decision-making rules from experts, robot criteria based on these rules and safety technologies for the design of HRC-systems. Different mathematical methods for the processing of knowledge within the assistance system were assessed with regard to their suitability in the assistance system. Finally, decision-making tree procedures with intermediate allocations were implemented. The prototypically developed assistance system named Kosyh-Mos (in German: Konfigurationssystem für roboterbasierte, hybride Montagesysteme; translation: assistance system for robot-based hybrid assembly systems) has a practical benefit through the integration into *CATIA*. *CATIA* is a popular CAD-software used in industrial plant design. The validation of the modeled and prototypically developed assistance system was carried out by a representational example from the automotive industry. In order to support a backup strategy process for windscreen assembly, a HRC-system concept was developed. The HRC-system realizes a meaningful, skill-oriented work division between human and robot. The recommendation of the developed assistance system showed a very good agreement with the expert decisions and safety measures of the realized HRC-system.

The doctoral thesis describes a concept of how the engineering in the field of HRC application development can be systematically supported in the future. Knowhow from experts can be archived by means of the assistance system and can be made accessible to inexperienced users. As well as planning departments in the automotive industry, plant engineering companies could have advantages from this expertise.